

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მიხეილ ჩიხრაძე

ულტრადისპერსული და ნანოსტრუქტურული  
ინტერმეტალიდების მიღება Ti-Al და Ni-Al - ის ეგზოთერმულ  
სისტემებში დარტყმითი ტალღებით ინიცირებული  
თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2012 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის  
ფიზიკის დეპარტამენტის  
ზოგადი და მყარი სხეულების ფიზიკის მიმართულებაზე  
ნანოტექნოლოგია და ნანომასალების სპეციალობით

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი აკაკი გიგინეიშვილი  
ასოც.პროფესორი ზურაბ გოგუა

რეცენზენტები: დავით ჯიშიაშვილი

ფიზიკა მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი  
ილია ლომიძე  
ფიზიკის აკადემიური დოქტორი, პროფესორი

დაცვა შედგება 2012 წლის “\_\_\_” ივნისს, “\_\_\_\_\_” საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის  
სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის  
სხდომაზე, კორპუსი \_\_, აუდიტორია \_\_\_\_\_  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი ----- თინათინ კაიშაური

## სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

### თემის აქტუალობა

ტექნიკური პროგრესი უშუალო კავშირშია ფიზიკური მასალათმცოდნეობის მიღწევებთან. ახალი კონკურენტუნარიანი პროდუქციის შექმნაზე მზარდი საბაზრო მოთხოვნები სულ უფრო აქტუალურს ხდის მოთხოვნას ახალ მასალებზე, რომელთა თვისებების მიმართ წაყენებული მოთხოვნები სულ უფრო მკაცრდება. აღნიშნული განაპირობებს ახალი მასალების შექმნის მიმართულებით კვლევების ინტენსიფიკაციას. მასალათმცოდნეობის ფართო სპექტრში განსაკუთრებული ინტერესი გამოხატულია ნანომასალების შექმნის მიმართ, ვინაიდან ნანომასალები/ნანოკომპოზიტები თავისი ფიზიკური და მექანიკური თვისებებით მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან იგივე შედგენილობის მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურის მქონე მასალებისგან. ცნობილია, რომ ზომის ეფექტი (მისი შემცირება ნანოზომებამდე), ერთ, ორ და სამგანზომილებიან სისტემებში მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მასალის თვისებებზე. ნანომარცვლებს, დიდი ზედაპირის ფართი გააჩნიათ მოცულობასთან შეფარდებით, რის გამოც თვისებებით ისინი ფუნდამენტურად განსხვავდებიან ჩვეულებრივი, არანანოგანზომილების, მსხვილმარცვლოვანი მასალებისგან. მათ ახასიათებთ მაღალი სისალე და ცვეთამდეგობა, გამოირჩევიან სიმტკიცისა და პლასტიკურობის იდეალური შეხამებით, ახასიათებთ სუპერპლასტიკურობა, გააჩნიათ სპეციფიკური ოპტიკური, ელექტრული, თერმოელექტრული მაგნიტური და სხვა უნიკალური თვისებები. გამოყენების თვალსაზრისით, მნიშვნელოვანია ასეთი თვისებების რეალიზაცია მასიურ ნიმუშებში, რაც უადრესად სასურველ, მაგრამ ძნელად განხორციელებად მიზანს წარმოადგენს. შეიძლება ითქვას, რომ მარცლის ზომების შემცირება და დეფექტური სტრუქტურის კონტროლი

წარმოადგენს პრაქტიკული დანიშნულებისთვის გამოყენებადი მასიური ნანოსტრუქტურული მასალების შექმნის მთავარ საშუალებას.

ტიტანის, ალუმინის და ნიკელის შენადნობებს და მათ ბაზაზე მიღებულ კომპოზიტებს მნიშვნელოვანი სეგმენტი უკავია მასალების ფართო სპექტრში. დადგენილია, რომ Al-Ni-Ti სისტემებში ფორმირებულ კომპოზიტებს გააჩნიათ უნიკალური ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები: მაღალი კუთრი სიმტკიცე, მხურვალსიმტკიცე, მხურვალმედეგობა, კოროზიამედეგობა და ა.შ. ისინი გამოყენება თერმოდამცავ ელემენტებში, კოსმოსური ხომალდების კონსტრუქციებში, წვის კამერებში, თერმული დატვირთვების ქვეშ მომუშავე საკონსტრუქციო მასალებად და ა.შ. ამ სისტემაში კვლევების განვითარებას მძლავრი სტიმული მისცა ნანომასალებში და ამორფულ სტრუქტურებში აღმოჩენილმა ახალმა განსაკუთრებულმა თვისებებმა. მეტად პერსპექტიულია ამ სისტემაში ამორფული და ნანოსტრუქტურული კომპოზიტების მიღება, რაც ჯერჯერობით თხელ ფირებშია მიღწეული რთული ტექნოლოგიების შედეგად. მოსალოდნელია, რომ ამ სისტემაში ახალი სტრუქტურული მდგომარეობის ფორმირების შემთხვევაში მათი პრაქტიკული გამოყენების არეალი მნიშვნელოვნად გაფართოვდება. აღნიშნული გარემოებები განაპირობებენ Al-Ni-Ti სისტემაში ახალი ნანოსტრუქტურული და ამორფული ინტერმეტალიდების მიღებისადმი კვლევების დიდ ინტერესს.

თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზი (თმს) წარმოადგენს Al-Ni-Ti-ის სისტემაში კომპოზიციური, ფუნქციონალურ გრადიენტული (ფგმ) და ინტერმეტალიდური მასალების მიღების ერთ-ერთ მოხერხებულ ტექნოლოგიას. თუმცა, როგორც ანალიზი გვიჩვენებს, დიდი განზომილების მასიური ნანოკომპოზიტების მიღების კუთხით არსებული ტექნოლოგიები, მ.შ. თმს, ვერ იძლევა სასურველ შედეგებს.

ამ პრობლემების გადასაწყვეტად და Ti-Al-Ni-ის სისტემაში მასიური ულტრადისპერსულმარცვლოვანი და ნანოსტრუქტურული კომპოზიტების მისაღებად სადისერტაციო სამუშაოში შემოთავაზებული და გამოკვლეულია ნანოფხვნილების მიღების და მათი აფეთქებით თმს-კომპაქტირების ტექნოლოგია.

### სამუშაოს მიზნები და ამოცანები

სადისერტაციო სამუშაოს ძირითად მიზანს წარმოადგენდა Ti-Al, Ni-Al, Ti-Al-Ni სისტემებში ფუნდამენტური კვლევების ჩატარება და ულტრადისპერსულმარცვლოვანი და ნანოსტრუქტურული ინტერმეტალიდების მიღების ტექნოლოგიის საფუძვლების შემუშავება.

მიზნის მისაღწევად საჭირო იყო ორი ძირითადი პრობლემის გადაწყვეტა:

- I. ნანოფხვნილების მიღების რაციონალური ტექნოლოგიის შემუშავება;
- II. ნანოფხვნილებიდან ნანომონოლითების მიღების ოპტიმალური ტექნოლოგიის შემუშავება.

პრობლემების გადასაწყვეტად ჩამოყალიბდა კვლევების გეგმა, რომელიც მოიცავდა შემდეგ ამოცანებს:

- Ti-Al-Ni-ის სისტემის თერმოდინამიკური ანალიზის საფუძველზე კაზმების შემადგენლობის წინასწარი შერჩევა/დადგენა;
- მაღალენერგეტიკულ წისქვილში ნანოფხვნილებისა და ნანოკაზმების მიღების რეჟიმების დადგენა;
- Ti-Al-Ni-ის სისტემის კაზმების დარტყმითი ტალღებით თმს-კომპაქტირების მოდელირება; დარტყმითი ტალღებით დატვირთულ კომპოზიციურ მასალებში წარმოქმნილი დამაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზი;
- კომპოზიციური ნარევების საწყისი სიმკვრივის ოპტიმიზაცია, აფეთქებით თმს-კომპაქტირების ოპტიმალური რეჟიმებისა დადგენა;

- ექსპერიმენტული ნიმუშების სტრუქტურისა და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა;
- ულტრადისპერსულმარცვლოვანი და ნანოსტრუქტურული კომპოზიტების ფორმირების მექანიზმების დადგენა;

### **კვლევის ობიექტი და მეთოდები**

Ti-Ai-Ni სისტემაში მასიური ულტრადისპერსული კომპოზიტების აფეთქებით თმს-კომპაქტირებით მისაღებად საწყის, მასაღებად შერჩეულ იქნა: Ti-მსხვილმარცვლოვანი (99.0%); Al-ნანოკრისტალური (99.0%, ნაწილაკთა საშუალო ზომა: 18ნმ;  $d < 50$ ნმ; ფორმა-სფერული; კუთრი ზედაპირი: 40-60 მ<sup>2</sup>/გ;) Ni-ნანოკრისტალური; Ni-მსხვილმარცვლოვანი; 39Al-61Ni(ატ.%) და 78Al-22Ni(ატ%) - პლავირებული; 64Ti : 36Al (მას%) - პლავირებული;

კაზმები შედგენილობის შესარჩევად სისტემის თერმოდინამიკური ანალიზისთვის, გამოყენებულ იქნა: “მიდემას” ემპირული მოდელი; ორკომპონენტიანი და სამკომპონენტიანი სისტემების ფაზური მდგომარეობის დიაგრამები; დარტყმითი ტალღების ექსპერიმენტული ადიაბატები; დრეკადობის თეორიისა და მათემატიკური ფიზიკის მეთოდები; პროგრამული პაკეტი “LS DYNA” და “ANSIS”.

ფხვნილებში დარტყმითი ტალღების გენერირებისათვის და თმს-კომპაქტირებისთვის გამოყენებულ იქნა საშტატო ფეთქებადი ნივთიერებები (ფნ) და აფეთქების საშუალებები: იგდანიტი (95%გვარჯილა-5%დიზელის საწვავი); ფლეგმატიზირებული ჰექსოგენი; ამონიტი #6; ემულსიური ფნ “პოვერგელ მაგნუმი”.

### **ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე**

ნაშრომის ძირითად შედეგები:

1. შემუშავდა ტიტან-ალუმინ-ნიკელის სისტემაში ულტრადისპერსული და ნანოფხვნილების მისაღების რაციონალური მეთოდი. დადგინდა ნარევში

კომპონენტების შემცველობები, რომლებიც ნანოწისქვილში დამუშავებისას ეტაპობრივად განიცდიან ამორფიზაციას, წარმოქმნიან ინტერმეტალიდებს და ყალიბდებიან ნანოკრისტალურ კაზმად.

2. შემუშავდა ულტრადისპერსული და ნანოფხვნილების აფეთქებით ინიცირებული თმს-კომპაქტირებით ულტრადისპერსულმარცვლოვანი და ნანოსტრუქტურული მასიური კომპოზიტების ფორმირების ოპტიმალური მეთოდი და დადგინდა საწყისი სიმკვრივის, წნევის, ფეთქებადი ნივთიერების კუთრი მასის და კონტეინერების ზომების ტექნოლოგიური პარამეტრები;

3. აფეთქებით კომპაქტირების ტექნოლოგიით მიღებულ იქნა მასიური ნამზადები სხვადასხვა სტექიომეტრიის ინტერმეტალიდების, მყარი ხსნარებისა და მიკრომექანიკური ნარევების სტრუქტურული მდგომარეობებით;

4. Ti-Ai-Ni სისტემის ულტრადისპერსული ფხვნილების აფეთქებით თმს-კომპაქტირებით მიღებული კომპოზიტის ლითონურ ფუძესთან შეერთებით მიღებულ იქნა ორი და მრავალფენოვანი ფუნქციონალურ გრადიენტული მასალები (ფგმ);

5. აფეთქებით კომპაქტირება-თმს-ის რეჟიმში მიღებული ულტრადისპერსულმარცვლოვანი და ნანოსტრუქტურული კომპოზიტების გაგლინვით მიღებული იქნა სამფენოვანი ფურცლოვანი ნანო კომპოზიტები-ფგმ-ები.

6. თბური აფეთქების რეჟიმში თმს-კომპაქტირებით მიღებულ იქნა ერთფაზიანი ნანოსტრუქტურული ინტერმეტალიდები.

#### **მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს შემდეგში:**

შესწავლილ იქნა Ti-Al-Ni სისტემის ფხვნილების მაღალენერგეტიკულ წისქვილში დამუშავებისას მიმდინარე ფიზიკური პროცესების და ფაზური გარდაქმნების დინამიკა და ახსნილ იქნა მათი ძირითადი მექანიზმები; ჩატარდა თეორიული კვლევები აფეთქებით დატვირთვის ქვეშ მყოფ

ნანოკაზმებში წარმოქმნილი დამაბუღ-დეფორმირებული მდგომარეობის შესასწავლად, რის შედეგადაც მიღებულ იქნა ანალიზური გამოსახულებები და განისაზღვრა მხები და ნორმალური ძაბვების კომპონენტები; გამოკვლეულია საწყისი სიმკვრივის როლი დარტყმითი ტალღებით დატვირთულ მაღალეგზოთერმულ ფორიან მასალაში მიმდინარე კუმშვა-განტვირთვის ადიაბატურ პროცესებზე და კაზმში თმს-ის ინიცირებაზე; გამოკვლეულია ბრტყელი და ცილინდრული სქემებით აფეთქებით დატვირთვის დროს მაღალეგზოთერმულ ულტრადისპერსულ ნანოკაზმებში მაღალი წნევისა და ტემპერატურების გენერირების მექანიზმები და შეფასებულია მათი ინტენსივობა; მთავარი მეცნიერული სიახლეა Ti-Ai-Ni-ის ორკომპონენტიან და სამკომპონენტიან ნანოფხვნილების კაზმებში ოთახის ტემპერატურაზე აფეთქებით აღძრული დარტყმითი ტალღების ფრონტზე თმს-კომპაქტირების რეჟიმში ნანოკომპოზიტებისა და ნანო ფგმ მიღება. მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს აგრეთვე თბური აფეთქების რეჟიმში ერთფაზიანი ინტერმეტალიდების მიღება ტიტან-ალუმინის კაზმიდან. მიღებული ინტერმეტალიდების სტრუქტურის, ფორიანობის და თვისებების კვლევით მიღებულ იქნა ახალი შედეგები, რომელთა საფუძველზეც აიხსნება მაღალეგზოთერმულ სისტემებში ნანოსტრუქტურის ფორმირების მექანიზმები. კერძოდ, სისტემის მაღალეგზოთერმულობა, მაღალი წნევა, თმს და ადიაბატური გაცივების მაღალი სიჩქარე უზრუნველყოფენ თხიერ მდგომარეობამდე მიყვანილი ულტრადისპერსული ფხვნილიდან მასიური ნანოკომპოზიტის ფორმირებას რამდენიმე მილიწამში განხორციელებად მაღალენერგეტიკულ რეჟიმში.

### **სამუშაოს აპრობირება**

სამუშაოს შედეგები წარმოდგენილი იყო შემდეგ კონფერენციებზე: მინერალების, ლითონების და მასალების წლიური შეხვედრა და გამოფენა—



TMS-2012(ორლანდო, აშშ 2012წ); გამოყენებითი ფიზიკის და მასალათმცოდნეობის პირველი საერთაშორისო კონგრესი–APMAS2011(ანტალია, თურქეთი 2011წ); თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზის მე–11 საერთაშორისო სიმპოზიუმი–SHS2011(ატიკა, საბერძნეთი,2011წ); მინერალების, ლითონების და მასალების წლიური შეხვედრა და გამოფენა–TMS-2011(სიეტლი, აშშ 2011წ); გამოყენებითი ფიზიკის თანამედროვე საკითხები (თბილისი, საქართველო, 30.03.2011წ); საერთაშორისო კონფერენცია–ნანო2010 (თბილისი, საქართველო 2010წ); მინერალების, ლითონების და მასალების წლიური შეხვედრა და გამოფენა–TMS-2010(სან დიეგო, აშშ 2010წ); მე-10 საერთაშორისო მულტიდისციპლინარული გეოკონფერენცია და გამოფენა SGEM 2010 (ალბენა, ბულგარეთი); მე-2 საერთაშორისო კონფერენცია ულტრაწვრილმარცვლოვან და ნანოსტრუქტურულ მასალებში UFGNSM 09 (თეირანი, ირანი, 2009); ფხვნილთა მეტალურგიის ევროპის კონგრესი–EURO PM-2009 (კოპენჰაგენი, დანია 2009წ);

### **გამოქვეყნებული შრომები**

დისერტაციის შინაარსი ასახულია 9 გამოქვეყნებულ შრომაში:

1. M. Chikhradze, A. Gigineishvili, Explosive Fabrication of Intermetallics In TiAl System from NanoAl and Coarse Ti Powders, Published by the American Institute of Physics 2011, <http://dx.doi.org/10.1063/1.3663163>
2. M. Chikhradze, C. Politis, N. Chikhradze, G. Oniashvili, Bulk Materials Obtained By Shock Waves Compaction of Ultrafine Titanium and Aluminum, International Journal of Modern Physics, v.5 5(2012) 391-399, 2012
3. M. Chikhradze, A. Gigineishvili, N. Chikhradze, G. Oniashvili, Explosive Consolidation of Ultrafine Ni-Al-Ti Powder, Book: 10<sup>th</sup> Multidisciplinary Scientific GeoConference, v. 1, section: “Micro and Nano Technologies”, pp.1173-1180, 2010

4. M. Chikhradze, G. Oniashvili, Theoretical and Experimental Investigations of Shock Wave Induced Reactions in Ni-Al System, International Journal of Powder Metallurgy, September/October 2008, 44/5, p.20-22
5. M. Chikhradze, G. Oniashvili, A. Gigineishvili, Investigation of Intermetallides, Obtained in Ti-Al-B System in Dynamic Conditions, EURO PM2009 Proceedings Copenhagen, v. 3., 2009
6. G. Oniashvili, M. Chikhradze, "Investigation of Intermetallides, Obtained in Ti-Al System Under Shock Wave Loadings", Supplementary Proceedings: Volume 3: General Paper selections, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), pp. 637-643, 2009
7. მ. ჩიხრაძე, ბ. გოდიბაძე, "ნანოსტრუქტურული ალუმინისა და მსხვილმარცვლოვანი ტიტანის ფხვნილების კომპაქტირება დარტყმითი ტალღებით"; ნანო-2010; ნანოქიმია ნანოტექნოლოგიები, გვ. 188-192
8. M.Chikhradze, B. Godibadze, N. Bochorishvili, "Consolidation of Nanocrystalline Si and Si-Ge Powders by Shock Waves" Modern Issues of Applied Physics, pp 236-239, Tbilisi, 2011
9. M. Chikhradze, B. Godibadze, and N. Bochorishvili, "Consolidation of Nanocrystalline Si and Ge Powders by Shock Waves" APMAS2011; AIP Conf. Proc 1400, PP. 465-469

### **ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა**

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლისაგან, სამი თავისაგან, დასკვნისა და ციტირებული ლიტერატურისგან. სამუშაო შეიცავს 153 ნაბეჭდ გვერდს, 3 ცხრილს, 70 სურათს და 83 დასახელების ბიბლიოგრაფიას.

### **შესავალი**

შესავალში მიმოხილულია თანამედროვე ფიზიკური მასალათმცოდნეობის მიღწევები და ის გამოწვევები, რომლებიც სტიმულს აძლევს ახალი მასალების შექმნას. თემატიკიდან გამომდინარე ძირითადი ყურადღება გამახვილებულია

ნანომასალებზე და ნანოტექნოლოგიებზე როგორც საშუალებაზე ახალი უნიკალური თვისებების მქონე კომპოზიტების მისაღებად. მოკლედ არის განხილული Ti-Ai-Ni-ის სისტემაში ნანოფხვნილებისა და მასიური ულტრაწვრილმარცვლოვანი/ნანოკომპოზიტების მიღების თანამედროვე ტექნოლოგიები და მათი უპირატესი და ნაკლოვანი მხარეები, რის საფუძველზეც დასაბუთებულია სადისერტაციო თემის აქტუალობა.

## პირველი თავი

პირველ თავში გაკეთებულია პრობლემის ირგვლივ არსებული ლიტერატურული მონაცემების დეტალური ანალიზი. მიმოხილულია ახალი მასალების მიღების თანამედროვე მეთოდები. ნანომასალების და მათი მიღების ტექნოლოგიების მიმართულებით დამოუკიდებელი ქვეთავები ეძღვნება ნანოფხვნილებისა და მასიური ნანოკომპოზიტების მიღების მეთოდებს. ულტრადისპერსული ფხვნილების მიღების მეთოდებიდან ძირითადი ყურადღება გამახვილებულია ორთქლის ფაზიდან კონდენსაციის, ქიმიურ და პლაზმურ ტექნოლოგიებზე. პლაზმური ტექნოლოგია წარმოადგენს ნანოფხვნილების მიღების ერთ-ერთ მოხერხებულ მეთოდს. იგი კარგი საშუალებაა მიღებულ იქნას მაღალი სისუფთავის ულტრადისპერსული მასალები. ამ მეთოდის მთავარი ნაკლია დაბალი მწარმოებლურობა.

ორთქლის ფაზიდან ნანოფხვნილების მიღების მეთოდის მთავარი უპირატესობაა მიღებული მასალის მაღალი სისუფთავე. თუმცა, იგი წარმოადგენს ენერგოტევად ტექნოლოგიას, მოითხოვს პროცესის ვაკუუმში ან ინერტულ გარემოში წარმოებას, ძვირადღირებულ დანადგარებს და ამდენად მისი გამოყენება საკმაოდ შეზღუდულია.

მასიური ნანოკომპოზიტების მიღების მეთოდებიდან განხილულია ფხვნილების წნეხვა-შეცხობის ტრადიციული ტექნოლოგიები. აღნიშნულია, რომ ულტრაწვრილმარცვლოვანი და ნანომასალების მისაღებად მათი

გამოყენების ძირითად შემზღუდავ ფაქტორს წარმოადგენს შეცხოების დიდი დრო და მაღალი ტემპერატურები, რაც იწვევს მარცლების ზომების ინტენსიურ ზრდას. Ti-Ai-Ni-ის სისტემაში მასიური კომპოზიტების მიღების ერთ-ერთ გავრცელებულ ტექნოლოგიას წარმოადგენს თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზი (თმს). თმს არის პროცესი, რომლის დროსაც კონდენსირებული ფაზის შემადგენლობის ფორმირება ხორციელდება მდგრად რეჟიმში მიმდინარე თვითგავრცელებადი ეგზოთერმული ქიმიური რეაქციის ხარჯზე. თმს ტექნოლოგიის გამორჩეულ უპირატესობებს სხვა ტექნოლოგიებთან შედარებით წარმოადგენს საბოლოო პროდუქტის სისუფთავე, დაბალი ენერგოტევადობა და საჭირო ტექნოლოგიური მოწყობილობის სიმარტივე. აქვე აღნიშნულია, რომ თმს და მასში ინტეგრირებული ტექნოლოგიები ყოველთვის ვერ იძლევა სასურველ შედეგებს. იგი არ არის უნივერსალური და გამოყენებადია მხოლოდ მაღალეგზოთერმულ სისტემებში/კაზმებში. ამასთან ერთად მის მთავარ ნაკლს წარმოადგენს შეზღუდვები დიდი ზომის მასიური ნიმუშის მიღების შესაძლებლობებში.

ფხვნილების დინამიკური წნეხვის მეთოდებში პროგრესულად ვითარდება დარტყმითი ტალღებით კომპაქტირების ტექნოლოგია. ამიტომ ამავე თავში განხილულია ფხვნილების აფეთქებით წნეხვის თავისებურებანი და ამ მიზნით ფეთქებადი ნივთიერებისა და მასალის კონტაქტური ოპერაციის სახეები. გაანალიზებულია ფორიან გარემოში დარტყმითი ტალღების აღძვრისა და გავრცელების კანონზომიერებები. ჩამოყალიბებულია პირობები, რომლის დროსაც ფხვნილების კომპაქტირების დროს ხდება ნაწილაკებს შორის საერთო საზღვრების ჩამოყალიბება.

ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა დავწნეხოთ საკმაოდ დიდი ზომის ნიმუშები, თუმცა მასაც ახასიათებს გარკვეული შეზღუდვები გამოყენების პირობებიდან, გეომეტრიული ფორმებიდან და საჭირო

ინფრასტრუქტურიდან გამომდინარე. კვლევების პროცესში დარტყმითი ტალღების გენერირება ხდებოდა აფეთქებით, ამიტომ ცალკე პარაგრაფი ეძღვნება კონდენსირებულ ფეთქებად ნივთიერებებს და დეტონაციის პროცესების ანალიზს.

ცნობილია, რომ Ti-Al-Ni-ის სისტემებში არსებობს სხვადასხვა სტრუქტურული მდგომარეობისა და ფაზების ფორმირების შესაძლებლობა. სხვადასხვა მკვლევართა შეფასებით განსაკუთრებით პერსპექტიულია ამ სისტემაში ნანოსტრუქტურული ინტერმეტალიდებისა და სხვა ფაზების მიღება. მათი გამოყენების დიდი პოტენციალი განაპირობებს Al-Ni-Ti სისტემაში ნანოკომპოზიტების მიღების კვლევებისადმი დიდ ინტერესს. ამასთან ერთად არსებობს ამ სისტემაში ნანოფხვნილებისა და მათგან ნანოკომპოზიტების მიღების მრავალი სირთულე და პრობლემა.

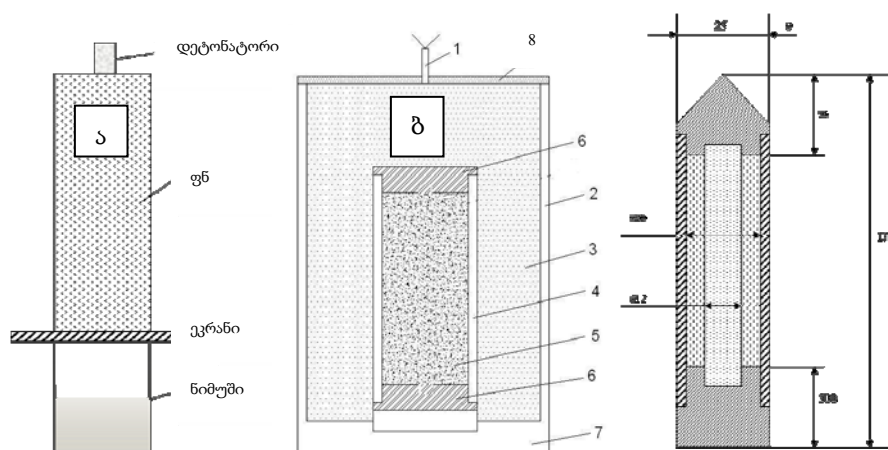
ამავე თავში პრობლემის ირგვლივ არსებული ლიტერატურის ანალიზის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია კვლევის მიზნები და ამოცანები.

## მეორე თავი

მეორე თავში წარმოდგენილია ინფორმაცია საწყისი მასალების, ექსპერიმენტების ტექნიკის, კვლევის მეთოდების და საშუალებების შესახებ. ფხვნილების გრანულომეტრიული ანალიზისთვის გამოიყენებოდა „რეტჩის“ ნანოწისქვილის საცრების კომპლექტი და სედიმენტაციის, სითხეში დალექვის მეთოდი.

შემენილი ნანოფხვნილების შემთხვევაში კაჟმის კომპაქტირებისწინა დამუშავება ჰომოგენიზაციისთვის ხორციელდებოდა ლაბორატორიულ შემრევ მოწყობილობაში. მსხვილფრაქციული ნარევი დამუშავდა პლანეტარულ წისქვილში ჰომოგენიზაციის, პირდაპირი მექანიკური ლეგირების და ნაწილაკთა ზედაპირების აქტივაციის მიზნით. კომპაქტების სიმკვრივის განსაზღვრა ხორციელდებოდა არქიმედეს მეთოდით. ნიმუშებში ფორიანობის განსაზღვრისთვის გამოიყენებოდა მიკროსკოპი LEICA DM IRM.

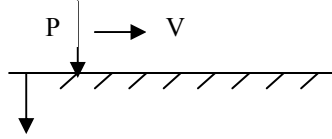
რენტგენოსპექტრული ანალიზი ჩატარდა დანადგარზე SEM A JEOL 4000EX HRTEM, ხოლო ფაზური ანალიზი SCINTAG Inc., X1<sup>TM</sup> დიფრაქციული სისტემის გამოყენებით. მექანიკური თვისებებიდან განისაზღვრებოდა მიკროსისალე და დრეკადობის მოდული. მიკროსისალის განსაზღვრა ხდებოდა ვიკერსის მეთოდით. აფეთქებით ინიცირებული დარტყმითი ტალღების თანხლებით თმს-ის ექსპერიმენტები ჩატარდა მიწისქვეშა ექსპერიმენტულ ბაზაზე. Ti-Al-Ni სისტემის კაზმების აფეთქებით კომპაქტირებისთვის გამოყენებულ იქნა აფეთქებით დატვირთვის ნორმალური და ღერსიმეტრიული სქემები (ნახ. 1).



ნახ. 1. აფეთქებით კომპაქტირებისა და სინთეზის „ბრტყელი“ (ა) და ღერსიმეტრიული (ბ) სქემა: 1-ელდეტონატორი; 2-ფნ-ის კონტეინერი; 3-ფეთქებადი ნივთიერება (ფნ); 4. კაზმის კონტეინერი; 5- კაზმი; 6-საცობები; 7-ინერტული ფენა; 8-ფიქსატორი.

**მესამე თავში** წარმოდგენილია კვლევების ძირითადი შედეგები და გაკეთებულია მათი ანალიზი.

აფეთქებით დატვირთულ Ti-Al-Ni კომპოზიციებში ნორმალური და მხები ძაბვების ძაბვების განისაზღვრა იმ დაშვებით, რომ მათზე ზემოქმედებას ახორციელებს დეტონაციის ტალღის სრიალა ფრონტი (ნახ. 2). დრეკადობის თეორიისა და ფურიეს გარდაქმნების მეშვეობით მოხერხდა ძაბვის კომპონენტების განსაზღვრა ცხადი სახით (1,2,3).



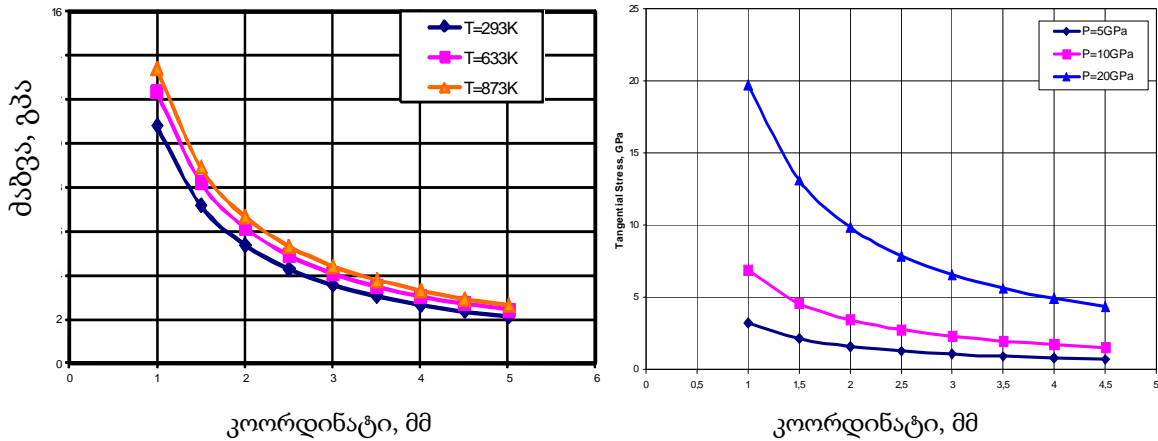
ნახ.2. დატვირთვა ნახევარსიბრტყის საზღვარზე ( $Y=0$ ) მუდმივი სიჩქარით ( $V=V_{\text{დეტონაციის}} = \text{Constant}$ ) მოძრავი წნევის იმპულსით

დრეკადობის თეორიისა და ფურიეს გარდაქმნების მეშვეობით მოხერხდა ძაბვის კომპონენტების განსაზღვრა ცხადი სახით (1,2,3). განტოლებების საფუძველზე აიგო ნიმუშში ძაბვების განაწილების მრუდები, რომელთა საფუძველზეც შეირჩა დატვირთვის სქემები და პარამეტრები.

$$\sigma_y = -\frac{py}{\pi} \left[ \frac{(1-\beta_1^2)^{\frac{1}{2}}}{(x-Vt)^2 + (1-\beta_1^2)y^2} \cdot \frac{\theta}{\theta + \phi} + \frac{(1-\beta_2^2)^{\frac{1}{2}}}{(x-Vt)^2 + (1-\beta_2^2)y^2} \cdot \frac{\phi}{\theta + \phi} \right] \quad (1)$$

$$\sigma_x + \sigma_y = -\frac{py}{\pi} \cdot \frac{\beta_1^2(\lambda + \mu)(1 - \frac{1}{2}\beta_2^2)}{\mu(\theta + \phi)} \cdot \frac{(1-\beta_2^2)^{\frac{1}{2}}}{(x-Vt)^2 + (1-\beta_1^2)y^2} \quad (2)$$

$$\tau_{xy} = \frac{p}{\pi} \cdot \frac{(1-\beta_1^2)^{\frac{1}{2}}(1 - \frac{1}{2}\beta_2^2)}{(\theta + \phi)} \cdot \left[ \frac{1}{(x-Vt)^2 + (1-\beta_1^2)y^2} - \frac{1}{(x-Vt)^2 + (1-\beta_2^2)y^2} \right] \cdot (x-Vt) \quad (3)$$



ნახ. 4. ნორმალური და მხები ძაბვების განაწილება Ti-Al-ის სისტემაში დატვირთვის სხვადასხვა პირობებში.

გამოთვლებით მიღებული შედეგების საფუძველზე, შესაძლებელია ნიმუშში შევქმნათ სასუსრველი პირობები/თერმოდინამიკური მდგომარეობა. ექსპერიმენტულად დადგინდა Ti-Al-Ni სისტემის ფხვნილებისთვის აფეთქებით თმს-კომპაქტირების პროცესის საწყის სიმკვრივეზე დამოკიდებულების ხასიათი. დადგინდა, რომ ნაყარი სიმკვრივის კაზმის აფეთქებით დატვირთვა იწვევს კუმშვის ტალღის ანომალიას-შემჭიდროების ნაცვლად ადგილი აქვს გაფართოებას. ანომალიური გაფართოების შესაზღუდად საჭიროა კაზმის ფორიანობის შესამცირება. ამიტომ, მისი წინასწარი შემჭიდროება ხდება 50ტ-იან ძალოვან წნეხზე.

ფხვნილების აფეთქებით თმს-კომპაქტირების ოპტიმალური წნევების დასადგენად ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა გვიჩვენა, რომ როდესაც წნევა კაზმის კონტეინერის კედელზე 50კბარ-ია, მიიღება დაბალი სიმკვრივის კომპოზიტი (თეორიულის 80-90%). პერიფერიიდან ცენტრისკენ შეინიშნება ფოროვნების ზრდა, რაც აიხსნება ფოროვან გარემოში დაბალი ინტენსივობის დარტმითი ტალღების გავლის დროს მათი სწრაფი მიღევით. დადგენილ იქნა რომ აფეთქებით ინიცირებული თმს-კომპაქტირების ტექნოლოგიური წნევები, ოთახის ტემპერატურაზე, 75-100კბარ დიაპაზონში მერყეობს. მისი ოპტიმუმი განისაზღვრება სხვა საწყისი და ტექნოლოგიური პარამეტრებით.

დასაწნეხი კაზმის რაოდენობა მნიშვნელოვან პარამეტრს წარმოადგენს აფეთქებით კომპაქტირების ტექნოლოგიაში. ვინაიდან ენერგიის წყაროს წარმოადგენს ფეთქებადი ნივთიერება, მიზანშეწონილია აქცენტი გაკეთდეს, არა კაზმის მასის აბსოლუტურ მნიშვნელობაზე, არამედ ფეთქებადი ნივთიერების მასისა და კაზმის მასის ფარდობით მნიშვნელობაზე - E/M ექსპერიმენტულად დადგენილ იქნა, რომ Ti-Al-Ni-ის კაზმების ნანოწისქვილში დამუშავებით ნაწილაკთა ზედაპირების აქტივაცია და ფრაგმენტაცია იწვევს წნეხვა-სინთეზის წერტილების წანაცვლებას მცირე ფარდობითი მუხტების მიმართულებით.



აფეთქებით თმს-კომპაქტირების რეჟიმში ნაწილაკებს შორის კავშირის ფორმირება ხდება ოთხი ძირითადი მექანიზმით: 1. ლითონური ფხვნილების შეჯახებისას ნაკადწარმომქმნელ კუთხურ დიაპაზონში, ადგილი აქვს მათ შედუღებას. 2. აფეთქებით თმს-კუმშვისას ნაწილაკთა ურთიერთხახუნით გამოიწვეული ზედაპირების ლოკალური გადახურების შედეგად-ე.წ. შედუღება ხახუნით. 3. აფეთქებით ადიაბატური კუმშვისა და თმს-ის პროცესში გამოყოფილი სითბოს ზემოქმედებით ნაწილაკთა ზედაპირების დნობა და შეცხობა თხიერ/ან ნაწილობრივ თხიერ ფაზაში. 4. აფეთქებით ინიცირებულ თმს-ის პროცესში მიმდინარე ეგზოთერმული რეაქციით ინტერმეტალიდების ან მყარი ხსნარების ფორმირება.

ექსპერიმენტულად დადგინდა, რომ კომპოზიტის მიღება მარტივდება, როდესაც კაზში იზრდება დაბალი დნობის ტემპერატურისა და დენადობის ზღვრის მქონე კომპონენტების შემცველობა. კერძოდ, Ti-Al და Ni-Al-ის სისტემებში, ასეთ კომპონენტს წარმოადგენს Al, ხოლო Ti-Al-Ni-ის სისტემაში Al და Ni.

კონტეინერის მასალა და მისი გეომეტრია მნიშვნელოვან როლს თამაშობს დარტყმითი ტალღებით თმს-კომპაქტირების ტექნოლოგიაში. ბრტყელი დატვირთვის დროს ამჟღავნებს ეფექტური სიმაღლე ( $h$ ) და დიამეტრი ( $d$ ) განისაზღვრება პირობებით:

$$h_{\text{მინ.}} < h_{\text{ეფ}} < h_{\text{მაქ.}}; d_{\text{მინ.}} < d_{\text{ეფ}} \leq d_{\text{მაქ.}}; h_{\text{მინ.}} \geq D\tau; h_{\text{მაქ.}} < ct; d_{\text{მინ.}} < D\tau; d_{\text{მაქ.}}/2 \leq ct$$

(სადაც,  $D$ -ნიმუშში დარტყმითი ტალღის გავრცელების სიჩქარეა,  $\tau$ -სტაციონარული დარტყმითი ტალღის ფორმირების დრო,  $t$ -განტვირთვის ტალღის მოქმედების დრო,  $c$ -ბგერის სიჩქარე შეკუმშულ გარემოში).

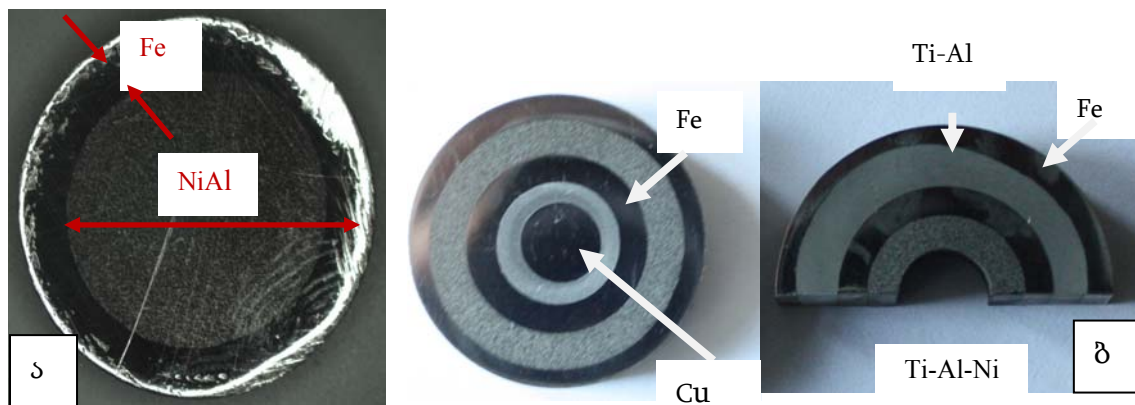
ცილინდრულ სქემაში კონტეინერის კედლის სისქის მინიმალური მნიშვნელობა განისაზღვრება პირობით:  $A < E_{\text{რლ.}}, E_{\text{რლ.}} = A_{\text{რლ.}} \times M; M = \rho \times \pi h [d^2 - (d - 2\delta)^2] = 4\rho \times \pi h \delta (d - \delta)$

სადაც,  $\delta$  - კონტეინერის კედლის მინიმალური სისქეა,  $A$  - აფეთქების მუშაობა,

$E_{rel}$  - კონტეინერის ერთეული მასის სრული რღვევისთვის საჭირო ენერგიაა

$M$  - კონტეინერის მასაა,  $\rho$ -კონტეინერის მასალის სიმკვრივე,  $h$ -ცილინდრის მსახველის სიგრძეა. კონტეინერის დიამეტრის ზედა ზღვარი რეგულირდება პირობით:  $d_{max}/2 \leq ct$ .

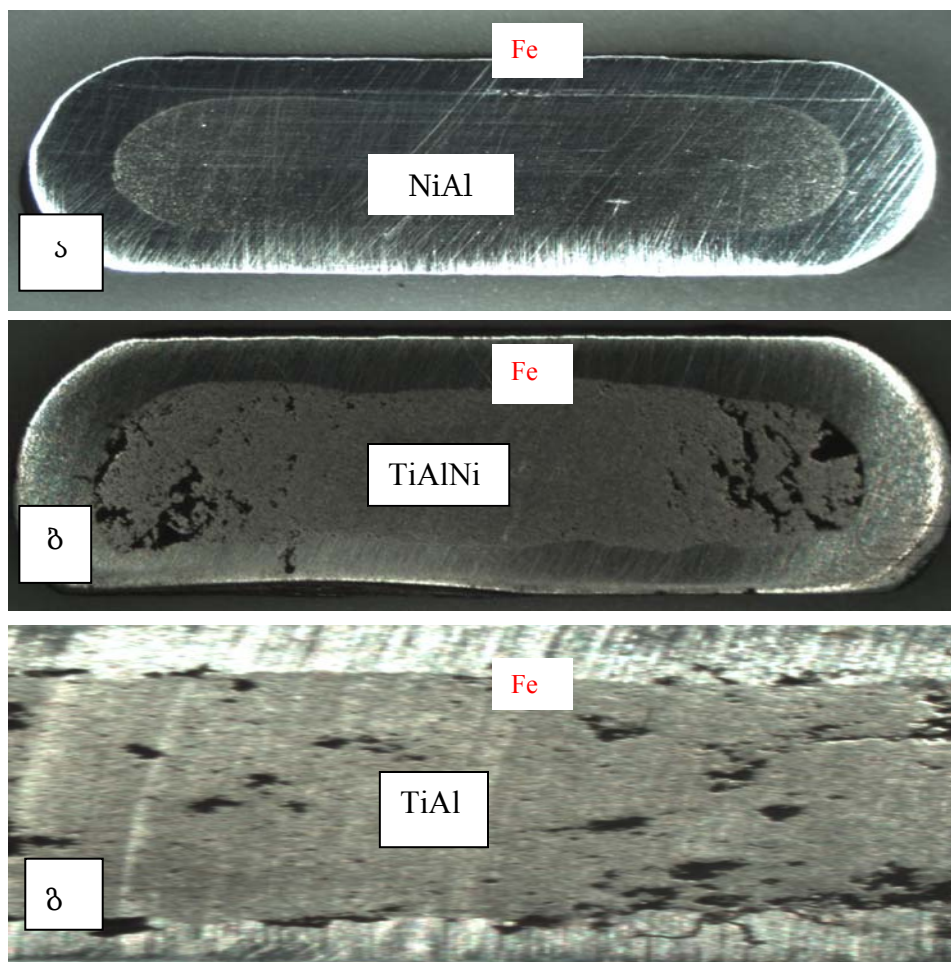
აფეთქებით თმს-კომპაქტირებით მიღებული ნიმუშები ნაჩვენებია ნახ.5-ზე.



ნახ. 5. აფეთქებით თმს-კომპაქტირებულ ნიმუშები

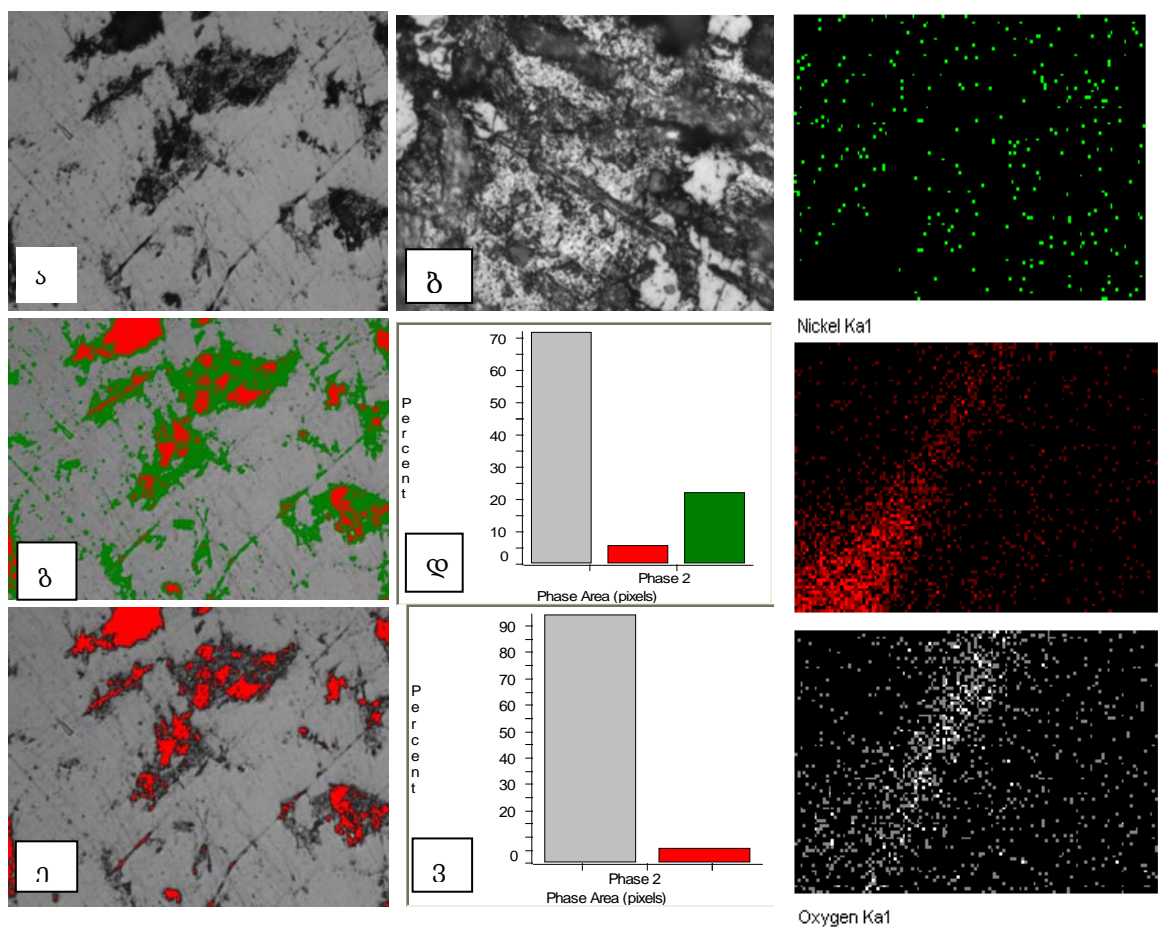
მრავალფენიანი ფგმ-ების მისაღებად ვიყენებთ მოდიფიცირებულ დატვირთვის სქემას. ცილინდრულ მილში ჩადგმულია მცირე დიამეტრის მონოლითური ლითონური ღერო/ან მილები. კონტეინერში არსებულ სიცარიელეებში თავსდება სარეაქციო კაზმი. ასეთი სქემით შესაძლებელია მიღებულ იქნას სამი და მრავალფენიანი კონცენტრული სიმეტრიის კომპოზიტები, ფგმ-ები (ნახ. 5 ბ). ფურცლოვანი მრავალფენიანი ფგმ-ის მიღება ხორციელდებოდა აფეთქებით თმს-კომპაქტირების რეჟიმში მიღებული ნიმუშების გაგლინვით (ნახ. 6).

ფრაქტოგრაფიული ანალიზით დადგინდა, რომ Ti-Al-ის კომპოზიტში მსხვრევა მიმდინარეობს ძირითადად მყიფე, ხოლო Ni-Al-ის კომპაქტში დომინირებს ბლანტი ან ნახევრადბლანტი მექანიზმი.



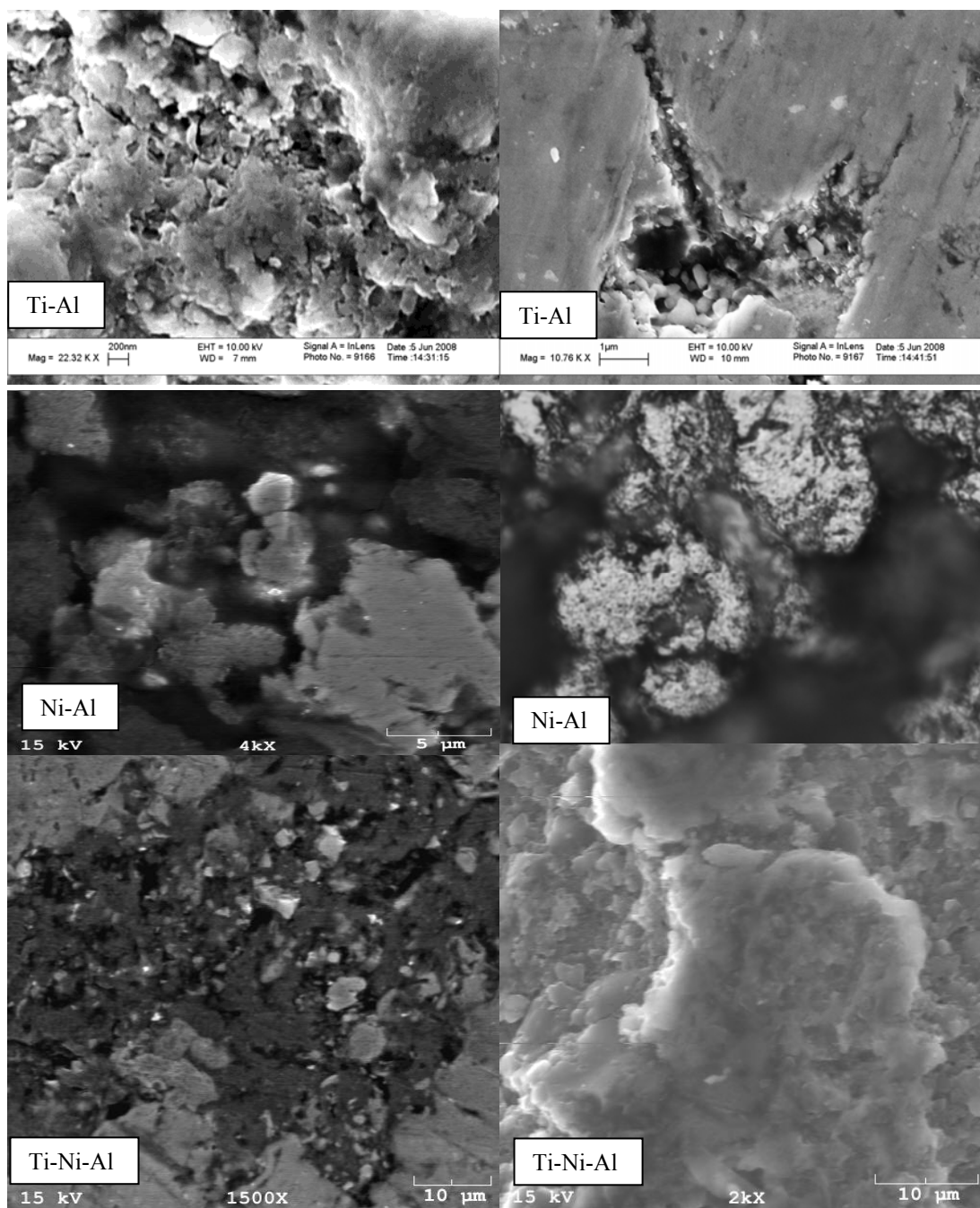
ნახ. 6. აფეთქება-თმს-გლინვით მიღებული ფგმ-ების განივკვეთების მაკროსურათები:

NiAl- ნანოკომპოზიტის მიკროსტრუქტურაში იდენტიფიცირებულია სამი ფაზა. ფორიანობა ნაკლებია 5%-ზე. (ნახ. 7). აფეთქებით თმს-კომპაქტირების დროს კომპოზიტის მარცვლებში ხდება პლასტიკურ დეფორმაცია (ნახ.7ბ). NiAl-ის ნანოკრისტალური კომპოზიტში ელემენტების განაწილება ნაჩვენებია ნახ.7-ზე. როგორც ვხედავთ ძირითად ელემენტებთან ერთად სტრუქტურა ლეგირებულია ნახშირბადის და სილიციუმის ატომებით, აგრეთვე ჟანგბადით, რაც ნაწილობრივ ჟანგვაზე მიუთითებს. ანალოგიური პროცესები მიმდინარეობს TiAl-ის და TiAl Ni-ის კომპოზიტებშიც.



ნახ. 7. ა) და ბ)  $P=100$ კბარ;  $T=20^{\circ}\text{C}$ ; NiAl- ნანოკომპოზიტის მიკროსტრუქტურა; გ), დ) ფაზების რაოდენობა და მათი თანაფარდობა, %; ე) და ვ) ფორიანობა და შეფასება, %.

კვლევებით დადგინდა, რომ როგორც სამკომპონენტური, ასევე ორკომპონენტური სისტემების კომპოზიტების მიკროსტრუქტურა შედგება სხვადასხვა ზომისა და ფორმის მარცლებიდან. იგი წარმოდგენილია, როგორც ნანომარცვლებით, აგრეთვე მათი აგლომერატებით და შედარებით მსხვილმარცვლოვანი უბნებით. აღნიშნულ სისტემაში აფეთქებით თმს-კომპაქტირების სხვადასხვა რეჟიმებში მიღებული სხვადასხვა კომპოზიციის ნიმუშების მიკროსტრუქტურები ნაჩვენებია ნახ.8-ზე.

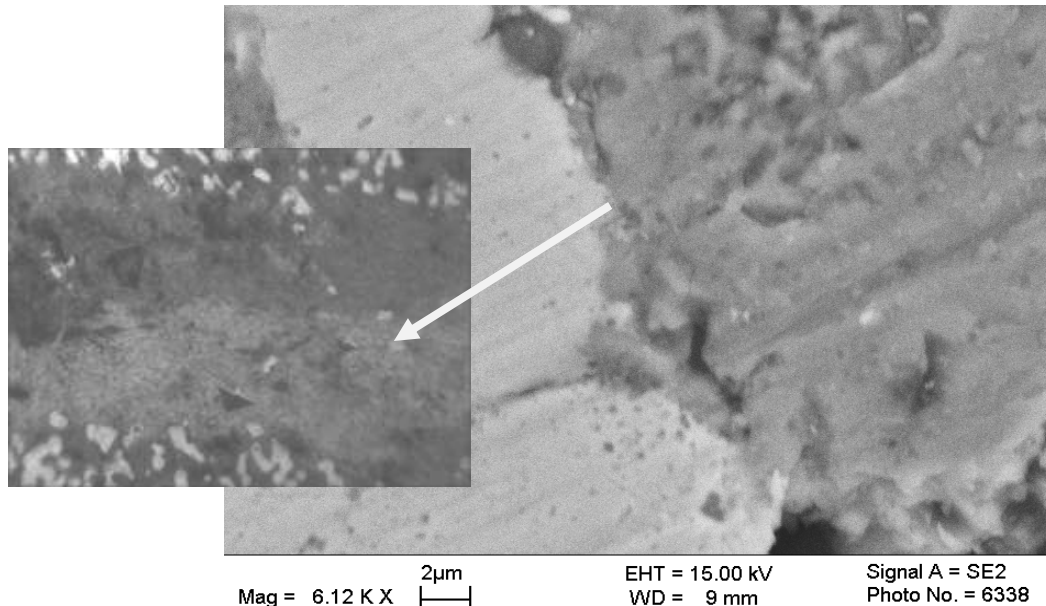


ნახ.8. აფეთქება თმს-კომპაქტირებით ოპტიმალურ რეჟიმებში ფორმირებული მასიური ნანოკომპოზიტების მემ მიკროფოტოგრაფიები

ფგმ-ების სტრუქტურის კვლევებით დადგინდა, რომ ფუძე მასალისა და კომპოზიტის შეერთება მიმდინარეობს გარდამავალი ზონის ფორმირებით. გარდამავალი ზონა წარმოადგენს კომპოზიტისა და კონტეინერის

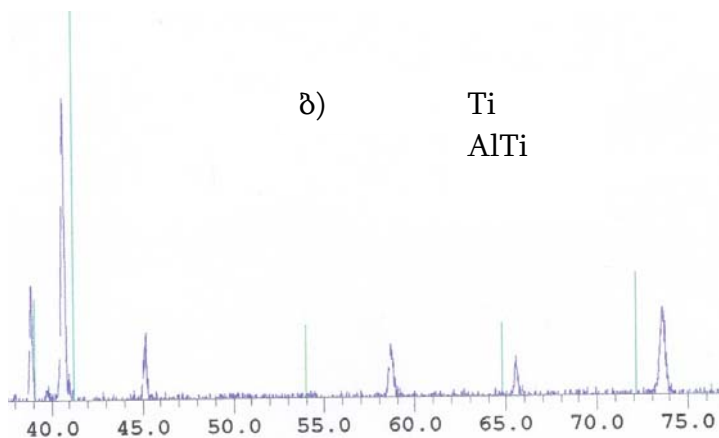
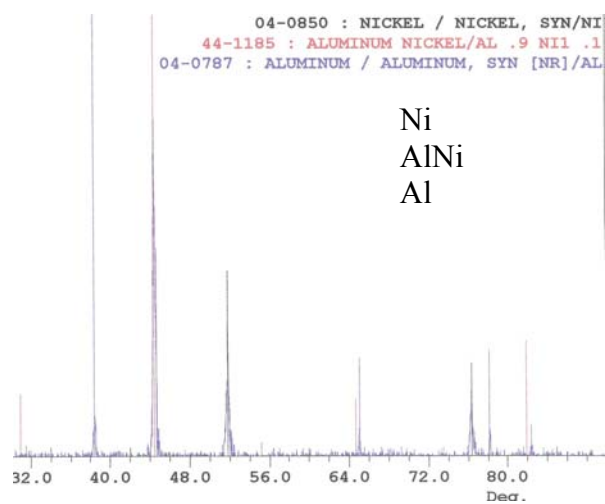


ელემენტებისგან შემდგარ მიკრომექანიკურ ნარევს. ფგმ-ებში ფენებსა და გარდამავალ ზონებში მიკროსისალების განაწილების კვლევით დადასტურდა, რომ ასეთი სტრუქტურა უზრუნველყოფს თვისებების მდორე ცვლილებას და ფგმ-ის მაღალ საიმედოობას (ნახ. 9)

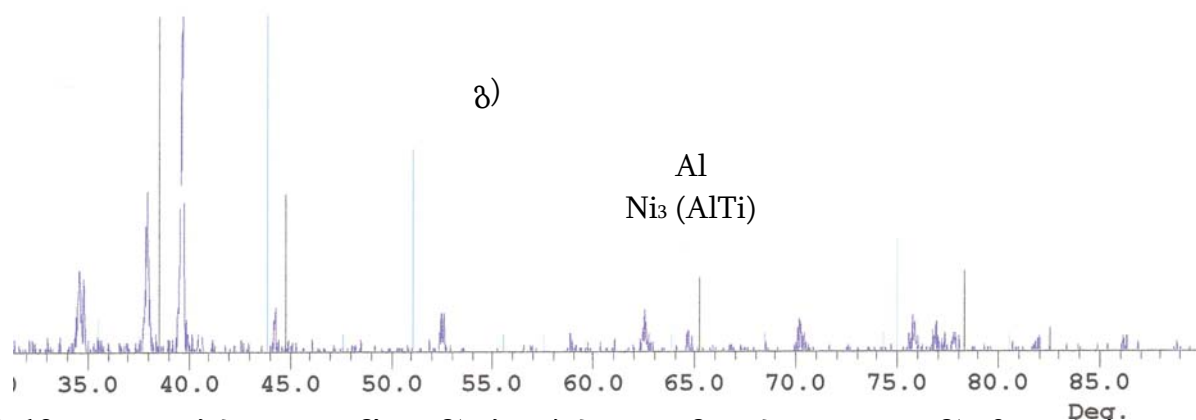


ნახ. 9. Fe-NiAl ფგმ თმს-კომპაქტებში გარდამავალი ზონის სტრუქტურა

საწყისი მასალების ნანოწისქვილში დამუშავების, ჰომოგენიზაციის, ამორფიზაციის, ნანოფხვნილის ფორმირების და მისგან მონოლითური კომპოზიტის მიღების ტექნოლოგიური ცილკის თვითეულ ეტაპზე განისაზღვრებოდა მასალის ფაზური შემადგენლობა. კვლევებით იდენტიფიცირებულია საწყისი მასალები და დადასტურებული მათი კრისტალური სტრუქტურა.  $Al_{50}Ni_{25}Ti_{25}$  კომპოზიციის კაზმის ნანოწისქვილში 10 საათიანი უწყვეტი რეჟიმით დამუშავების პროცესში მიიღება რენდგენამორფული ნარევი. ამორფიზაციამდე მიყვანილი კაზმების ნანოწისქვილში შემდგომი დამუშავების დროს ადგილი აქვს ინტერმეტალიდების ფორმირებას.



18-0872 : ALUMINUM NICKEL TITANIUM/Ni3 ( AL TI )  
 04-0787 : ALUMINUM / ALUMINUM, SYN [NR]/AL



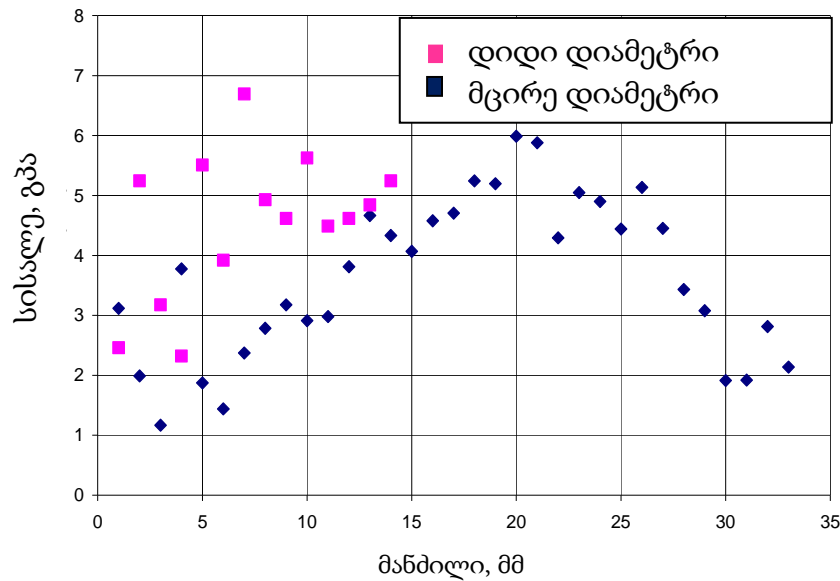
ნახ.10. აფეთქებით თმს-კომპაქტირებით მიღებული კომპოზიტების რენტგენოდიფრაქტოგრამები ა) Ni-Al; ბ) Ti-Al გ) Ti-Al-Ni

აფეთქებით თმს კომპაქტირებით მიღებული მასიური ნიმუშების მიკროსტრუქტურული და რენდგენოფაზური კვლევები ადასტურებს, რომ მიღებული ნანოკომპოზიტები მრავალფაზიანია.

სტრუქტურა წარმოდგენილია, როგორც ინტერმეტალიდების, ასევე მყარი ხსნარებისა და მიკრომექანიკური ნარევების სახით (ნახ. 10).

კერძოდ, 24 საათიანი დაფეკის დროს როგორც 50Al- 50Ti (ატ.%) , ასევე 50Al- 50Ti (ატ.%) კომპოზიციის ნარევი Ti, Al, Ni-ის პიკებთან ერთად მიიღება ტიტანისა და ნიკელის ალუმინიდების კრისტალური ფაზის პიკები (ნახ.10).

აფეთქებით თმს-კომპაქტირებულ და გაგლინულ ნიმუშებში მცირე და დიდი დიამეტრის გასწვრივ განხორციელდა სისალის განსაზღვრა. სისალისა განაწილება ელიფსური ნიმუშის ფენებში და გარდამავალ ზონაში ნაჩვენებია ნახ.11-ზე.



ნახ. 11. ელიფსური ფორმის Fe-NiAl თმს-კომპაქტების ფგმ ფენებში მიკროსისალის განაწილება მცირე და დიდი დიამეტრის გასწვრივ



კვლევებით დადგინდა, რომ გლინვის პროცესში მარცვლებში პლასტიკურ დეფორმაციასთან ერთად ადგილი აქვს კონტეინერისა და კომპოზიტის შემადგენელი ელემენტების ინტენსიურ ურთიერთდიფუზიას. მიკროსისალის საშუალო მნიშვნელობები მატულობს, ხოლო დიამეტრის გასწვრივ მიკროსისალის განაწილების ფორმა სინუსოიდალური რჩება.

## დასკვნები

Ti Al-Ni- - ის სისტემაში ფუნდამენტური თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე:

- დადგინდა აღნიშნულ სისტემაში ნანოსტრუქტურების ფორმირების ძირითადი მექანიზმები;
- თეორიული კვლევების საფუძველზე დადგინდა თმს-კომპაქტირების ძირითადი პარამეტრები და შეირჩა ექსპერიმენტული სქემები;
- შემუშავდა საწყისი მასალის, ამორფული და ნანოკრისტალური ფხვნილების კაზმის მიღების რაციონალური, პრაქტიკულ გამოყენებასთან თავსებადი ტექნოლოგია;
- დადგინდა ტიტან-ნიკელ -ალუმინის ფხვნილების ნარევების პლანეტარულ და ვიბრაციულ წისქვილებში დამუშავებით ნანოფხვნილების მიღების რაციონალური პარამეტრები;
- თეორიული და ფიზიკური მოდელირებით განისაზღვრა სარეაქციო მასაში/კაზმში კომპონენტების თანაფარდობები;
- ულტრადისპერსულ და ნანოფხვნილებისგან მომზადებულ კაზმში აფეთქებით განხორციელდა თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზის ინიცირება და პროცესში წარმოქმნილი სტრუქტურული მდგომარეობის მყისიერ რეჟიმში კომპაქტირებით-მასიური ნანოკომპოზიტების მიღება;
- დადგინდა ულტრადისპერსული და ნანოფხვნილების აფეთქებით თმს-კომპაქტირების რეჟიმები;
- ჩატარდა მიღებული ულტრადისპერსულმარცვლოვანი ნანოკომპოზიტების სტრუქტურის და ფიზიკო-მექანიკური თვისებების კვლევები და განისაზღვრა მათი მახასიათებლები;
- აფეთქებით მიღებული კომპაქტების გაგლინვით მიღებულ იქნა მრავალფენიანი გრადიენტული მასალები და გამოკვლეულ იქნა მათი თვისებები;
- კომპაქტების მიკროსტრუქტურული კვლევებით დადგინდა სტრუქტურის ფორმირების ძირითადი მექანიზმები: ფხვნილის ნაწილაკთა ზედაპირების პლასტიკური დენადობა; დარტყმითი

ტალღების ფრონტზე მიმდინარე თმს-ის დროს გენერირებული მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებით წნევის ქვეშ შეცხობა თხიერ ან/ და ნახევრადთხიერ ფაზებში;

- რენდგენოფაზური ანალიზით დადგინდა რომ აფეთქებით თმს-კომპაქტირების ტექნოლოგიით მიღებული კომპოზიტების სტრუქტურა მრავალფაზიანია. კომპოზიტის სტრუქტურა წარმოდგენილია მყარი ხსნარების, მიკრომექანიკური ნარევების, ინტერმეტალიდების სახით;
- ფგმ-ების ნიმუშის გარდამავალ ფენებში ნიმუშების სტრუქტურის, მიკროსისალებისა და მათი განაწილების კვლევებით დადგინდა, რომ თმს-კომპაქტირების პროცესში წარმოიქმნება გარდამავალი ზონა, რომლის სტრუქტურაც ფორმირდება კონტეინერისა და ფხვნილის მასალისგან; ორ და მრავალფენიან ფგმ-ებში გარდამავალი ზონის მექანიკური თვისებები შუალედურ მდგომარეობას იკავებს კონტეინერისა და კომპოზიტის თვისებებს შორის, მისი ცვლილება არ არის ნახტომისებური, ატარებს სინუსოიდალურ ხასიათს, რაც მკვეთრად აუმჯობესებს მის საიმედოობას და საექსპლოატაციო თვისებებს;
- თმს-თბური აფეთქების რეჟიმში მიღებულ იქნა ერთფაზიანი ტიტან ალუმინაიდები და განისაზღვრა მათი სტრუქტურა და თვისებები;
- ჩატარებული კვლევებით ძირითადად მიღწეულ იქნა სადისერტაციო ნაშრომში დასახული მიზნები;
- მიღებული შედეგების დეტალური ანალიზით დაისახა შემდგომი კვლევების მიზნები და ამოცანები.

**Georgian Technical University**

On the right of manuscript

Mikheil Chikhradze

**Fabrication of Ultrafinegrained and Nanostructured Materials in Ti-Al  
and Ni-Al Exothermic System By Shock Wave Assisted Self-Propagating  
High Temperature Syntheses**

**The Abstract**

of the thesis represented for attainment of the  
Doctoral academic degree

Tbilisi, Georgia

2012

The work was prepared and done in the Technical University of Georgia  
Faculty of Informatics and Control Systems;  
Department of Physics; Direction of General and Applied Physics;  
Specialization: Nanotechnology and Nanomaterials

The Scientific Supervisor: Professor Akaki Gigineishvili

The Reviewers: Professor Davit Jishiashvili  
Doctor of Physics and Mathematical Sciences

Professor Ilya Lomidze

Doctor of Physics

The defense will occur on June \_\_\_\_, 2012, at \_\_\_\_

In the Technical University of Georgia at the session of Dissertation Council,

Address: 77 Kostava str., Tbilisi 0175, Georgia, Building \_\_, Auditorium #\_\_

The thesis is available in the library of Technical University of Georgia

The abstract is available on the webpage of the Technical University of Georgia

Scientific Secretary of the Council ----- Tinatin Kaishauri

## Abstract

Composite materials fabricated in Al-Ni-Ti system are characterized with unique complex of physical and mechanical properties (high strength together with low density, corrosion resistance, heat resistance and high temperature strength, etc.) and have practical application in aerospace, machine and energetic engineering.

There are different technologies for formation of composite materials in Al-Ti-Ni system. Among them the most convenient is Self-propagating High-temperature Synthesis (SHS) and the combined method of SHS + compaction. The literature review showed that there is almost no information about obtaining of bulk nanostructure intermetallics by SHS-compaction technology. Production of nanocrystalline and ultrafine grained bulk composites creates new opportunities for expression of the unique properties. Therefore, it is expected, that the properties of the composites will be significantly improved, if they will be fabricated with nanocrystalline structure. Formation of nanostructure in this system is reported only through the thin layers by complicated technological process, and is no positive example of obtaining bulk and large scale layers. It is clear, that in case of fabrication of amorphous and nanostructure bulk materials, the demands on their practical application will be increased.

Proceeding from the above mentioned, the main purpose of the PhD thesis was to carry out fundamental theoretical and experimental investigations in Al-Ni-Ti system.

The main goals of researches were:

- a) To establish main mechanisms of nanostructure formation in the system;
- b) Based on the of theoretical investigations the calculation and selection of compaction methods and experimental setup;
- c) Realization of shock wave induced/assisted SHS in Ultrafine and nano-powder blend in Ti-Al-Ni system and *in situ* fabrication of bulk nanocomposites.

To achieve these goals the research were performed in two main directions:

- a) Elaboration of technology for preparation initial raw materials, blend of amorphous and nanocrystalline powders (precursor) for future formation bulk composites;

- b) Elaboration of rational (efficient) technology for production bulk nano composites from ultrafine, amorphous and nanopowders.

On the base of Al-Ti-Ni phase diagram, for obtaining ultrafine, amorphous and nano size initial mixture/ blend was used high energy planetary ball mill. Consequently the powder was converted first in amorphous and then in nanostructure state during mechanical alloying.

The researches had been done to study the process of SHS and compaction initiated by shock waves in order to obtain bulk nanostructure material from nanopowders: SHS-compaction technology initiated/assisted by shock waves.

The experiments were carried out according to the following scheme: the high exothermic nanostructure Al-Ti-Ni blend, processed in high energy planetary ball mill, was placed in steel/or copper cylindrical container. The container was surrounded by the explosives to generate shock waves. The high temperature, which was generated by shock waves, initiated the SHS process; while the high dynamic pressure ensures the compaction /fixing of stricture formed during the synthesis. Here we have the realization and integration of two technological processes in one cycle, where the SHS provides the formation of intermetallics and the shock wave compaction and high rate cooling (adiabatic cooling) ensures the production of bulk nanocomposites and functionally graded materials with ultrafine and nanostructure.